

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-275105

(43)Date of publication of application : 06.10.2000

(51)Int.Cl.

G01J 3/45

G01J 3/10

G01N 21/01

G01N 21/35

(21)Application number : 11-082459

(71)Applicant : JASCO CORP

JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY CORP

(22)Date of filing : 25.03.1999

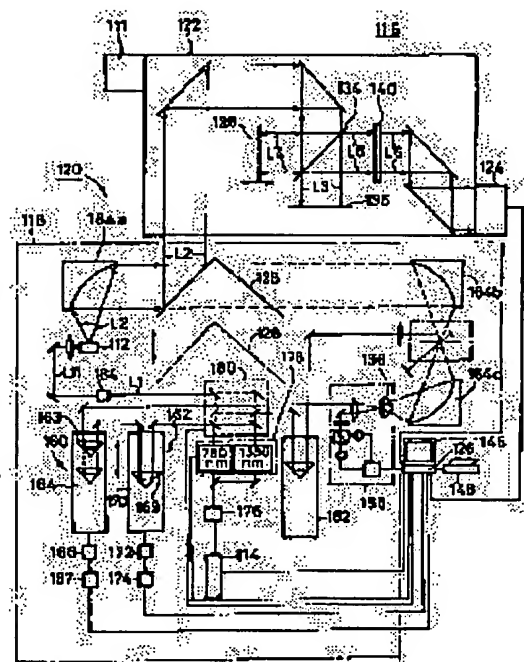
(72)Inventor : NISHIZAWA SEIJI

(54) INFRARED SPECTROSCOPE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an infrared spectroscope for stably obtaining a high luminance infrared light.

SOLUTION: In the infrared spectroscope 120 having a two-beam interference method 122 for obtaining a spectrum by splitting in two an infrared light from a continuous beam light source by a beam splitter 134, reflecting one light by a fixed mirror 136 and the other by a scanning mirror 138 to obtain a feedback light, combining the feedback lights to obtain an interference light L5, emitting the light L5 to a sample 140, and Fourier-transforming the emitted light L5 intensity data sensed by a sensor 124, the continuous beam light source has an exciting source 114 for generating a pulse excited light L1, a millimeter wave and infrared radiation element 112 for generating a pulse electromagnetic wave L2 when the excited light L1 is emitted, a time width setting means 126 for setting a time width of the excited light L1 so that the electromagnetic wave L2 has a continuous spectral distribution in a wave number range from a millimeter wave to the infrared wavelength band of the electromagnetic wave L2, and a frequency setting means 126 for setting the repeating frequency of the light L1 so that the electromagnetic wave L2 substantially time continues.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.02.2006

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-275105

(P2000-275105A)

(43) 公開日 平成12年10月6日 (2000.10.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 1 J	3/45	G 0 1 J	2 G 0 2 0
	3/10		2 G 0 5 9
G 0 1 N	21/01	G 0 1 N	D
	21/35		Z

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平11-82459

(22) 出願日 平成11年3月25日 (1999.3.25)

(71) 出願人 000232689

日本分光株式会社

東京都八王子市石川町2967番地の5

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 西澤 誠治

東京都八王子市石川町2097番地の2 株式
会社日本分光技術研究所内

(74) 代理人 100092901

弁理士 岩橋 祐司

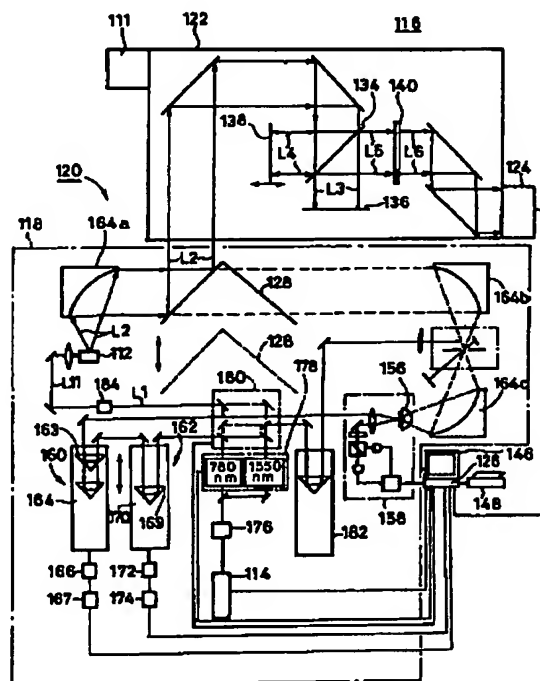
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 赤外分光装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、高輝度赤外光が安定して得られる赤外分光装置を提供することにある。

【解決手段】 連続光光源からの赤外光をビームスプリッタ134で二分割し、一方を固定鏡136で他方を走査鏡138で反射させて得た帰還光を合成した干渉光L5を試料140に照射し、検知器124で検知された照射光L6強度データをフーリエ変換することでスペクトルを得る二光束干渉法122の赤外分光装置116において、該連続光光源はパルス励起光L1を発生する励起源114と、該励起光L1が照射されるとパルス電磁波L2を発生するミリ波・赤外放射素子112と、該電磁波L2がミリ波から赤外波長域における波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持つように該励起光L1の時間幅を設定する時間幅設定手段126と、該電磁波L2が実質的に時間的に連続するように該励起光L1の繰返周波数を設定する周波数設定手段126と、を備えたことを特徴とする赤外分光装置120。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 連続光源から放射された赤外光をビームスプリッタにより二分割し、一方を固定鏡で、他方を走査鏡で反射させた得た帰還光を合成させてできた干渉光を測定試料に照射し、検知器で検知された該照射光データをフーリエ変換し、該試料の赤外線吸収スペクトルデータを得る二光束干渉分光法の赤外分光装置において、

前記連続光源は、所定の時間幅のパルス励起光を所定の繰り返し周波数で発生する励起源と、

前記励起源からのパルス励起光が照射されると、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波を発生するミリ波・赤外放射素子と、

前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持つように、前記パルス励起光の時間幅を設定する時間幅設定手段と、

前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が、実質的に時間的に連続した赤外光となるように、前記パルス励起光の繰り返し周波数を設定する周波数設定手段と、を備え、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波を、前記二光束干渉分光法の赤外分光装置の光源光として用いたことを特徴とする赤外分光装置。

【請求項 2】 連続光源から放射された赤外光を測定試料に照射し、該試料の透過ないし反射光を分散させた後、単色光に分解して検知器で検出し、該単色光を波数走査することにより、該試料の赤外線吸収スペクトルデータを得る分散型分光法の赤外分光装置において、前記連続光源は、所定の時間幅のパルス励起光を所定の繰り返し周波数で発生する励起源と、前記連続光源は、所定の時間幅のパルス励起光を所定の繰り返し周波数で発生する励起源と、前記励起源からのパルス励起光が照射されると、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波を発生するミリ波・赤外放射素子と、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持つように、前記パルス励起光の時間幅を設定する時間幅設定手段と、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が、実質的に時間的に連続した赤外光となるように、前記パルス励起光の繰り返し周波数を設定する周波数設定手段と、を備え、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波を、前記分散型分光法の赤外分光装置の光源光として用いたことを特徴とする赤外分光装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の赤外分光装置にお

いて、前記所定の時間幅のパルス励起光を、所定の繰り返し周波数で発生する励起源と、

前記励起源からのパルス励起光が照射されると、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波を発生するミリ波・赤外放射素子と、

を備え、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波を測定試料に照射し、検知器で検知された該試料の透過ないし反射波強度の時間分解データを時系列データとして検出し、該時系列データをフーリエ逆変換の数理的演算処理することによって、分光スペクトルデータを得るパルス分光部と、

前記パルス分光部に付属のミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波を、前記赤外分光装置の所定の光路中に光源光として導光する導光手段と、

を備えたことを特徴とする赤外分光装置。

【請求項 4】 請求項 1～3 のいずれかに記載の赤外分光装置において、前記励起源は、フェムト秒レーザ、あるいは電子ビーム型発振器であることを特徴とする赤外分光装置。

【請求項 5】 請求項 1～4 のいずれかに記載の赤外分光装置において、前記時間幅設定手段は、前記ミリ波・赤外放射素子で、前記ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波が発生するように、前記励起源で発生するパルス励起光の時間幅を、6 フェムト秒以上、170 フェムト秒以下に設定することを特徴とする赤外分光装置。

【請求項 6】 請求項 1～5 のいずれかに記載の赤外分光装置において、前記周波数設定手段は、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が実質的に時間的に連続するように、前記パルス励起光の繰り返し周波数を、1.5 MHz 以上に設定することを特徴とする赤外分光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は赤外分光装置、特にその連続光源の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】 分光測定等の分野において、赤外領域の光源は、各波数領域での光輝度が、連続的であることが必要とされるため、通常は、熱放射体からのエネルギーを利用する光源が使用されている。現在、連続光源としては、たとえばシリコンカーバイト (SiC)、ニクロム線、特殊なセラミックスの棒等の熱放射体が主体である。

【0003】 一方、従来から赤外分光装置は、あらゆる面で改善が行われ、高性能化してきている。しかしながら、時代の要求は、より小さい試料、並びに透過又は反射率の悪い試料の測定を如何に早く高精度で測定できる

かにかかってきている。これを実現するための手段には、前記連続光光源からのエネルギー放射を高くすることが含まれていることは勿論である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記熱放射体を用いた連続光光源では、そのエネルギー放射を大きくするために、光源温度を上昇させると、光源の素材として現在使用されているものの殆どは、融点が低いため溶けてしまいか、あるいは蒸発してしまう。一方、タングステン等の融点の高い物質を光源の素材として用いると、空气中で酸化する。

【0005】このように高精度測定を行うため、連続光光源に関しては、高輝度で、安定性にも優れた赤外光を確実に得られる技術の開発が強く望まれていたものの、これを解決することのできる適切な技術がいまだ存在しなかった。本発明は前記従来技術の課題に鑑みなされたものであり、その目的は高輝度の赤外光が安定して得られる赤外分光装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者が前記課題について鋭意検討を重ねた結果、半導体薄膜基板のミリ波・赤外放射素子に照射するパルス励起光の時間幅や繰り返し周波数等を考慮することにより、該ミリ波・赤外放射素子より、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、ミリ波から赤外波長域における所望の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ち、かつ、実質的に時間的に連続したテラヘルツ放射が得られる。

【0007】これは従来の熱放射体を用いた連続光光源より放射される赤外光に比較し、高輝度で、安定性にも優れた赤外光であることを見出し、本発明を完成するに至った。以下に、前記テラヘルツ放射の原理について説明する。

【0008】このテラヘルツ放射には、たとえば図1に示すようなTLE-GaAs基板9のボウタイアンテナ構造の光スイッチ素子10等のミリ波・赤外放射素子12に、フェムト秒レーザ14からのパルス励起光L11の照射で、電子・正孔の自由キャリアを誘起させ、超高速電流変調することによって、そのテラヘルツ放射L2を得ている。

【0009】すなわち、バイアス電流印加のミリ波・赤外放射素子12に、パルス励起光L11が照射されると、電場が揺り動かされる。電場が揺り動かされると、カレント（電流）が揺り動かされることにより、ミリ波・赤外放射素子12に照射されたパルス励起光L11の時間幅 Δt により規定される波数範囲で連続スペクトルを持ったテラヘルツ放射L2が得られる。

【0010】ここで、図2(a)に示されるような時間幅 Δt を持ったパルス励起光L11をミリ波・赤外放射素子12に照射すると、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、該ミリ波・赤外放射素子

12より、同図(b)に示されるようなテラヘルツ放射L2の時系列検出信号が得られる。このとき、このテラヘルツ放射L2の分光スペクトルは、同図(c)に示されるような波数範囲 $0 \sim \sigma_{max} \text{ cm}^{-1}$ に渡り、連続スペクトル分布を持っている。ここで、このテラヘルツ放射L2の持つ最大波数 σ_{max} は、パルス励起光L11の時間幅 Δ と逆比例の関係にある。

【0011】したがって、このパルス励起光L11の時間幅を6フェムト秒にすると、テラヘルツ放射L2には、 $0 \sim 5556 \text{ cm}^{-1}$ のミリ波から近赤外波長光が含まれる。これに対し、前記パルス励起光L11の時間幅を170フェムト秒にすると、テラヘルツ放射L2には $0 \sim 196 \text{ cm}^{-1}$ のミリ波から遠赤外波長光が含まれる。

【0012】また、前記パルス励起光L11の繰り返し周波数を、例えば二光束干渉計の走査速度より早い、たとえば1.5MHz以上の値に設定することにより、前記ミリ波・赤外放射素子12より発生するテラヘルツ放射L2は、二光束干渉分光法の赤外分光装置からみれば、実質的に時間的に連続した赤外光に等しいので、例えば二光束干渉分光法の赤外分光装置の光源光として用いることができる。

【0013】すなわち、前記目的を達成するために、本発明にかかる赤外分光装置は、二光束干渉分光法の赤外分光装置において、励起源と、ミリ波・赤外放射素子と、時間幅設定手段と、周波数設定手段と、を備えたことを特徴とする。ここで、前記二光束干渉分光法の赤外分光装置は、連続光光源から放射された赤外光をビームスプリッタにより二分割し、一方を固定鏡で、他方を走査鏡で反射させて得た帰還光を合成させてできた干渉光を測定試料に照射し、検知器で検知された該照射光データをフーリエ変換することにより、該試料の赤外線吸収スペクトルデータを得る。

【0014】また、前記励起源は、所定の時間幅のパルス励起光を所定の繰り返し周波数で発生する。また、前記ミリ波・赤外放射素子は、前記パルス励起光が照射されると、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波を発生する。

【0015】前記時間幅設定手段は、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持つように、前記パルス励起光の時間幅を設定する。前記周波数設定手段は、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が、実質的に時間的に連続した赤外光となるように、前記パルス励起光の繰り返し周波数を設定する。

【0016】そして、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波を、前記二光束干渉分光法の赤外分光装置

の光源光として用いる。また、前記目的を達成するために、本発明にかかる赤外分光装置は、分散型分光法の赤外分光装置において、励起源と、ミリ波・赤外放射素子と、時間幅設定手段と、周波数設定手段と、を備えたことを特徴とする。

【0017】ここで、前記分散型分光法の赤外分光装置は、連続光光源から放射された赤外光を測定試料に照射し、該試料の透過ないし反射光を分散させた後、単色光に分解して検知器で検出し、該単色光を波数走査することにより、該試料の赤外線吸収スペクトルデータを得る。また、前記励起源は、所定の時間幅のパルス励起光を所定の繰り返し周波数で発生する。

【0018】前記ミリ波・赤外放射素子は、前記励起源からのパルス励起光が照射されると、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波を発生する。前記時間幅設定手段は、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持つように、前記パルス励起光の時間幅を設定する。

【0019】前記周波数設定手段は、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波が、実質的に時間的に連続した赤外光となるように、前記パルス励起光の繰り返し周波数を設定する。そして、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波を、前記分散型分光法の赤外分光装置の光源光として用いる。

【0020】なお、前記赤外分光装置において、励起源と、ミリ波・赤外放射素子と、パルス分光部と、導光手段と、を備えることが好適である。ここで、前記励起源は、前記所定の時間幅のパルス励起光を、所定の繰り返し周波数で発生する。また、前記ミリ波・赤外放射素子は、前記励起源からのパルス励起光が照射されると、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波を発生する。

【0021】前記パルス分光部は、前記ミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波を測定試料に照射し、検知器で検知された該試料の透過ないし反射波強度の時間分解データを時系列データとして検出し、該時系列データをフーリエ逆変換の数理演算処理によって分光スペクトルを得る。前記導光手段は、前記パルス分光部に付属のミリ波・赤外放射素子からのパルス電磁波を赤外分光装置の光源光として、前記二光束干渉分光法、あるいは分散型分光法等の赤外分光装置の光路中に導光する。

【0022】また、前記赤外分光装置において、前記励起源は、超短のパルス励起光を安定して出射可能なフェムト秒レーザ、あるいは電子ビーム型発振器であることも好適である。この電子ビーム型発振器としては、たと

えば光蓄積リング(PhSR)、軌道放射光リング(SOR)等が一例として挙げられる。

【0023】また、前記赤外分光装置において、前記時間幅設定手段は、前記ミリ波・赤外放射素子で、前記ミリ波から赤外波長域における所定の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波が発生するように、前記励起源で発生するパルス励起光の時間幅を、6フェムト秒以上、170フェムト秒以下に設定することも好適である。

【0024】また、前記赤外分光装置において、前記周波数設定手段は、前記ミリ波・赤外放射素子で発生するパルス電磁波が実質的に時間的に連続するように、前記パルス励起光の繰り返し周波数を、例えば二光束干渉計の走査速度より早い1.5MHz以上に設定することも好適である。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づき本発明の好適な一実施形態を説明する。図3には、本発明の一実施形態にかかる赤外分光装置の概略構成が示されている。なお、本実施形態では、前記図1と対応する部分には符号100を加えて示し説明を省略する。

【0026】また、本実施形態では、赤外分光装置として、二光束干渉分光測定部116とパルス分光部118とを備えた複合の赤外分光装置を想定し、該二光束干渉分光測定部116に、パルス分光部118に付属のミリ波・赤外放射素子112から放射された赤外光を導光する場合について説明する。同図に示す複合の赤外分光装置120は、パルス分光部118に付属のフェムト秒レーザ114等の励起源と、ミリ波・赤外放射素子112を含む。

【0027】また、この複合赤外分光装置120は、二光束干渉分光測定部116に付属のHg等の連続光光源111と、MP/連続走査FTIR122等の干渉計と、ボロメータ等のIR検出器124等を含む。また、この複合赤外分光装置120は、信号処理手段としてのコンピュータ126を含む。

【0028】ここで、前記フェムト秒レーザ114は、コンピュータ126等の時間幅設定手段により、時間幅10フェムト秒のパルス励起光L11を、コンピュータ126等の周波数設定手段により、繰り返し周波数を、例えば20MHz～50MHzで発生するように設定されている。

【0029】また、前記ミリ波・赤外放射素子112は、たとえば前記TL-GaAs基板ボウタイアンテナ型発振器等よりなり、フェムト秒レーザ114からのパルス励起光L11が照射されると、光と物質の電磁気学的電場・電気双極子間の相互作用により、例えば $\Delta t = 10$ フェムト秒の場合には、波数範囲0～3300 cm^{-1} に渡り、連続スペクトル分布を持ったパルス電磁波である、テラヘルツ放射L2を発生する。

【0030】そして、本実施形態では、パルス分光部 118 で得たテラヘルツ放射 L2 を、外部観測用光路切替ミラー 128 等の導光手段によりパルス分光部 118 の外部に取り出し、二光束干渉分光測定部 116 の MP/連続走査 FTIR 122 に導光している。ここで、前記外部観測用光路切替ミラー 128 は、例えば駆動部（図示省略）、駆動回路（図示省略）、及びコンピュータ 126 等の制御回路により、パルス分光部 118 を使用する場合には、図中、破線で示されるように、外部観測用光路切替ミラー 128 がテラヘルツ放射 L2 の光路中より退避させられる。

【0031】これに対し、二光束干渉分光測定部 116 を使用する場合には、図中、実線で示されるように、外部観測用光路切替ミラー 128 がテラヘルツ放射 L2 の光路中に挿入されるように構成されている。本実施形態では、外部観測用光路切替ミラー 128 により二光束干渉分光測定部 116 の MP/連続走査 FTIR 122 に導光されたテラヘルツ放射 L2 を、ビームスプリッタ 134 で二分割する。

【0032】そして、一方 L3 を固定鏡 136 で、他方 L4 を走査鏡 138 で反射させた後に合成させてできた干渉光 L5 を試料 140 に照射する。その試料透過ないし反射干渉光 L6 を、IR 検出器 124 で受光し、光電変換する。そして、IR 検出器 124 で検知された照射光データを、コンピュータ 126 に取り込む。

【0033】このコンピュータ 126 は、該照射光データをフーリエ変換することにより、試料 140 の赤外線吸収スペクトルデータを求め、ディスプレイ 146、レコーダ 148 等に出力する。本実施形態にかかる複合赤外分光装置 120 は、概略以上のように構成され、以下にその作用について説明する。

【0034】まず、試料 140 を二光束干渉分光測定部 116 にセットする。試料 140 をセットした後、コンピュータ 126 を介してフェムト秒レーザ 114 により発生されるパルス励起光 L11 の時間幅 Δt と繰り返し周波数、外部観測用光路切替ミラー 128 の切り換え等を指示する。たとえばコンピュータ 126 によりパルス励起光 L11 の時間幅 Δt を、10 フェムト秒に設定する。また、繰り返し周波数を 20 MHz ~ 50 MHz 等に設定する。

【0035】そして、コンピュータ 126 からの指示に基づき測定を開始する。すなわち、赤外光を測定試料 140 に照射し、その試料透過ないし反射光データを検出するが、光源光としては、一般に、Hg 等の連続光光源 111 等の熱放射体より放射された赤外光が用いられる。しかしながら、前記熱放射体では、高精度測定を行うために、より高輝度の赤外光を得ようとする、安定性が失われてしまい、高輝度の赤外光を安定して得るのが困難であった。

【0036】そこで、本発明では、前記熱放射体から放

射される赤外光に比較し、高輝度で、安定性にも優れた、ミリ波・赤外放射素子 112 より発生するテラヘルツ放射 L2 を用いている。このために、本実施形態では、コンピュータ 126 からの指示に基づき測定を開始すると、パルス分光部 118 に付属のフェムト秒レーザ 114 より、パルス励起光 L11 が 20 MHz ~ 50 MHz の高周波で出射され、ミリ波・赤外放射素子 112 に照射されると、電子・正孔の自由キャリアーが誘起され、超高速電流変調されることにより、そのテラヘルツ放射 L2 が得られる。

【0037】ここで、本実施形態では、パルス励起光 L11 の時間幅を、10 フェムト秒という超短に設定しているので、前記ミリ波・赤外放射素子 121 より発生するテラヘルツ放射 L2 には、波数範囲 0 ~ 3300 cm^{-1} のミリ波から近赤外波長光が含まれる。また、本実施形態では、前記パルス励起光 L11 の繰り返し周波数を、たとえば 20 MHz ~ 50 MHz という高周波に設定しているので、ミリ波・赤外放射素子 112 より発生するテラヘルツ放射 L2 は、実質的に時間的に連続した赤外光となる。

【0038】本実施形態では、このように、パルス励起光 L11 の時間幅と繰り返し周波数を工夫して得られた、ミリ波から赤外波長域 0 ~ 3300 cm^{-1} で連続スペクトルを持ち、高輝度で安定性にも優れたテラヘルツ放射 L2 を、二光束干渉分光測定部 116 による試料 140 の赤外線吸収測定に用いている。すなわち、本実施形態では、パルス分光部 118 に付属の発振器 112 からのテラヘルツ放射 L2 を外部観測用光路切替ミラー 128 により外部に取り出す。これを二光束干渉分光測定部 116 に付属の MP/連続走査 FTIR 122 に導光する。

【0039】そして、IR 検出器 124 で検知された照射光データをコンピュータ 126 により公知の信号処理を行うことにより、該測定部 116 に設置の試料 140 の赤外線吸収スペクトルデータを求めている。このため、本実施形態では、Hg 等の熱放射体を用いた従来の連続光光源 111 に比較し、より高輝度の赤外光を安定して MP/連続走査 FTIR 122 内の測定試料 140 に照射できるので、SN 比の良い測定を行うことができる。

【0040】また、本実施形態では、同図に示すようにパルス分光部 118 と二光束干渉分光測定部 116 とを組み合わせた複合の赤外分光装置 120 とし、コンピュータ 126 等の指示により、外部観測用光路切替ミラー 128 を、パルス分光部 118 のテラヘルツ放射 L2 の光路に挿入するか、又は退避させるのみで、パルス分光部 118 を使用するか、又は二光束干渉分光測定部 116 を使用するかを切り換え可能としている。

【0041】これにより、これらの分光測定部 116、118 を別個独立に設けたものに比較し、光学系の光学

的最適調整状態を良好に保持できるとともに、装置構成の簡易化を図ることができる。なお、本発明の赤外分光装置は、前記構成に限定されるものではなく、発明の要旨の範囲内で種々の変形が可能である。

【0042】励起源の変形例について

前記構成では、励起源として、フェムト秒レーザ 114 を用い、該レーザ 114 から出射されたレーザ光を用いた例について説明したが、これに限定されるものではなく、ミリ波・赤外放射素子 112 より、ミリ波から赤外領域における所望の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったテラヘルツ放射 L2 を励起可能なものであれば、他のものを用いることができる。

【0043】例えば光蓄積リング (PhSR) や軌道放射光リング (SOR) 等の電子ビーム型発振器を設け、該 PhSR や SOR からの超短パルス放射光を、ミリ波・赤外放射素子 112 に印加し、テラヘルツ放射 L2 を励起させることも大変有効である。また、テラヘルツ放射 L2 を励起できるものであれば、前記レーザ光等の光に代えて、エネルギー等であってもよい。

【0044】測定波数範囲の変更について

前記構成では、パルス励起光 L11 の時間幅 Δt を、たとえば 10 フェムト秒に設定し、ミリ波から赤外波長域における波数範囲 $0 \sim 3300 \text{ cm}^{-1}$ に渡り、連続スペクトル分布を持ったテラヘルツ放射 L2 を得た例について説明したが、該パルス励起光 L11 の時間幅 Δt を考慮することにより、テラヘルツ放射 L2 の持つ最大波数 σ_{max} を容易に変更可能である。このため、赤外領域以外を測定波数範囲とする分光測定部の光源として用いることも可能ではある。

【0045】種々の分光測定部への適用について

たとえば、前記構成では、二光束干渉分光測定部 116 の連続光光源の例について説明したが、これに限られるものではなく、該二光束干渉分光測定部 116 に代えて、たとえば分散型分光法等の赤外分光装置にも適用できるのは勿論である。

【0046】分散型分光法の赤外分光装置としては、例えばミリ波・赤外放射素子からのテラヘルツ放射を測定試料に照射し、該試料の透過ないし反射光を分散させた後、単色光に分解して検知器で検出し、該単色光を波数走査することにより、該試料の赤外線吸収スペクトルデータを得るもの等が一例として挙げられる。

【0047】また、パルス分光部 118 としては、ミリ波から赤外領域における所望の波数範囲に渡り連続スペクトル分布を持ったテラヘルツ放射 L2 が高速の繰り返し周波数で得られるものであれば、任意のものを用いることができるが、たとえば以下に示すものが、後述する種々の面で、より好ましい。

【0048】まず、その概略構成を説明する。図 4 に示すように、パルス分光部 118 を使用する際は、コンピュータ 126 等により外部観測用光路切換ミラー 128

をテラヘルツ放射 L2 の伝播路中より退避させる。同図に示すパルス分光部 118 は、前記フェムト秒レーザ 114 と、前記ミリ波・赤外放射素子 112 と、複数の試料部 152、154 と、複数の検出器 156、158 と、複数の光学的遅延手段 160、162 を含む。

【0049】そして、発振器 112 に、10 フェムト秒のパルス励起光 L11 が照射されると、該ミリ波・赤外放射素子 112 より、ミリ波から赤外波長域における波数範囲 $0 \sim 3300 \text{ cm}^{-1}$ に渡り、連続スペクトル分布を持ったテラヘルツ放射 L2 が放射される。前記テラヘルツ放射 L2 を、例えば $20 \text{ MHz} \sim 50 \text{ MHz}$ 等の繰り返し周波数で、ガス試料セル内のガス試料 153 等に照射する。測定試料は、ガス試料 153 に代えて、固体試料 155 等を設置してもよい。

【0050】多試料測定を容易にする複数の試料部について

すなわち、本実施形態では、ミリ波・赤外放射素子 112 と検出器 156 等との間の、テラヘルツ放射 L2 の伝播路中に、平行光照射試料部 152 と、収束光照射試料部 154 とを直列に設けている。そして、試料に応じてミリ波・赤外放射素子 112 からのテラヘルツ放射 L2 を異なる形状で照射できるように、各試料部 152、154 の前後に、複数の放物面鏡 164a ~ 164c 等の試料部照射光学系を設けることが好ましい。

【0051】例えば、各放物面鏡 164a ~ 164c の鏡面の向きを同図に示すように配置することにより、ミリ波・赤外放射素子 112 からのテラヘルツ放射 L2 は、放物面鏡 164a により平行光 L2a として平行光照射試料部 152 に照射される。この平行光照射試料部 152 からのテラヘルツ放射 L7a は、放物面鏡 164b により集光され、収束光 L2b として収束光照射試料部 154 に照射される。

【0052】この収束光照射試料部 154 からのテラヘルツ放射 L7b は、放物面鏡 164b により集光され、検出器 156、158 に導光される。そして、使用者は、ガス試料 153 等を測定する場合には、例えばガス試料 153 をガス試料セルに入れ、該ガス試料セルを平行光照射試料部 152 に設置する。また、使用者は、ガス試料 153 等に代えて、固体試料 155 等を測定する場合には、該固体試料 155 等を収束光照射試料部 154 に設置する。

【0053】この結果、一台の装置で、多試料と測定モードをカバーすることが可能となり、各試料、測定モードごとに光学系を交換する必要がなくなる。つまり、試料やその測定モードに応じて異なる光学系を交換する手間を省いているので、光学的最適調整状態を、長時間保持できる。これにより、測定を常に適正に行うことができる。また、装置構成の簡易化を図ることもできる。

【0054】しかも、平行光を用いるか、又は収束光を用いるかによって多くの試料の測定が容易となる。これ

により、一の装置で、気体、液体、固体のいずれの試料についても、実時間（高速時間分解）測光できる。なお、前記構成では、平行光照射試料部 152 と収束光照射試料部 154 とを直列に設けた例について説明したが、これらの試料部 152、154 を並列に設けてもよい。

【0055】たとえば、ミリ波・赤外放射素子 112 からのテラヘルツ放射 L2 を、ビームスプリッタ等の分割手段により二分割し、一方を平行光照射試料部 152 へ、他方を収束光照射試料部 154 へ導光し、各試料部 10 からのテラヘルツ放射を各対応検出器で検出できる。本実施形態では、検出器として、たとえばシリコンレンズ／TL-GaAs 基板ボウタイアンテナ素子検出器 156 に加えて、フェムト秒パルス・サンプリング電気光学（EO）素子検出器 158 を設けており、パルス分光部 118 に設置の試料 153（155）を透過したテラヘルツ放射 L7 を受光し、光電変換する。

【0056】前記遅延手段は、例えば試料測定用の反射器 163 を含む遅延ステージ 164 と、ステップモータ等の駆動部 166 と、駆動回路 167 と、コンピュータ 126 等の制御手段等よりなる試料測定用の光学的遅延手段 160 を含む。この試料測定用の光学的遅延手段 160 は、フェムト秒レーザ 114 からのレーザ光 L1 を、検出器 156、158 からの時間分解データの取り込みを指示するサンプリング・パルス光 L12 として受光し、検出器 156、158 に導光している。

【0057】ここで、コンピュータ 126 は、パルス励起光 L11 がミリ波・赤外放射素子 112 に 1 回入射するごとに、2 つのパルス L11、L12 の遅延時間差 τ が Δt ずつ変化するように、遅延ステージ 164 の反射器 163 を駆動部 166 で駆動して平行移動しているの 30 で、パルス励起光 L11 に対し遅延時間差をサンプリング・パルス光 L12 に設けることができる。

【0058】時間原点調整用の遅延手段の付加について
また、前記試料測定用の遅延手段 160 に加えて、時間原点調整用の光学的遅延手段 162 を設けることも好ましい。たとえば、時間原点調整用の反射器 169 を含む遅延ステージ 170、ステップモータ等の駆動部 172、駆動回路 174 を設ける。

【0059】このため、コンピュータ 126 により指示したサンプリング・パルス光 L12 の遅延時間差の制御に、試料測定用の遅延手段 160 に加えて、時間原点調整用の遅延手段 162 を用いることにより、試料測定用の遅延手段 160 のみを設けた場合に比較し、該遅延時間差の制御を、より適正に行うことができる。これにより、コンピュータ 126 の指示通りに、検出器 156、158 からの測光データの取り込みを行うことができるので、該測光データは、そのような工夫のないものに比較し、非常に信頼性の高いものとなる。

【0060】そして、サンプリング・パルス光 L12 に 50

より、検出器 156、158 からの時間分解データを、コンピュータ 126 に、各遅延時間差に対応させて取り込むことにより、試料透過ないし反射テラヘルツ放射 L7 の強度の時間分解データを得ている。コンピュータ 126 は、取り込んだ各時間分解データよりなる時系列データをフーリエ逆変換し、赤外線吸収スペクトルデータを得ている。

【0061】このように本実施形態では、フェムト秒レーザ 114 から出射されたフェムト秒レーザ光 L1 を分岐し、一方をパルス励起光 L11 としてミリ波・赤外放射素子 112 に導光し、テラヘルツ放射 L2 を発生させる。これをパルス分光部 118 に設置の測定試料 153（155）に照射している。この試料を透過（反射）したテラヘルツ放射 L7 は、検出器 156、158 でその光強度が検出され、その検出信号がコンピュータ 126 に供給される。

【0062】ここで、検出器 156、158 では、パルス励起光 L11 がミリ波・赤外放射素子 112 に 1 回照射されるにつき、ある一瞬しか光輝度が検出されないようにし、テラヘルツ放射 L2 を試料にあてたのち、ある遅延時間において検出器 156、158 を一瞬間だけオンにし、その瞬間の透過光強度を測定している。このとき、コンピュータ 126 が遅延時間をパルス励起光 L11 がミリ波・赤外放射素子 112 に 1 回照射されるにつき、 Δt ずつずらすことにより、試料より出てくるテラヘルツ放射 L7 強度の各時間分解データを得ている。

【0063】そして、コンピュータ 126 は、試料を透過したテラヘルツ放射 L7 の各時間分解データよりなる時系列データに、フーリエ逆変換を行うことにより、該試料の赤外線吸収スペクトルデータを求め、これをディスプレイ 146 やレコーダ 148 に出力させる。

【0064】周波数調節手段の付加について

試料の状態の時間変化を測定するために、テラヘルツ放射 L2 を試料に照射することにより励起し、その時点からの時間変化を測定する。この試料が励起される時間と試料をテラヘルツ放射 L2 が透過する時間の時間間隔を変えながら、透過ないし反射したテラヘルツ放射 L7 を分光することにより、時間分解分光装置測を行うことができる。

【0065】しかしながら、パルス励起光 L11 の繰り返し周波数は、例えば 20 MHz ～ 50 MHz であるため、例えば 50 MHz の場合には、テラヘルツ放射 L2 は、20 ns 毎に試料に照射されることとなる。試料がテラヘルツ放射 L2 で基底状態から励起された後の緩和現象を測定する場合には、励起状態が 20 ns よりも長い現象では、テラヘルツ放射 L2 で励起するときに試料が基底状態ではないという問題が生じる。

【0066】このためにパルス励起光 L11 の繰り返し時間を試料の緩和時間に合わせて調整する必要のある場合があり、本実施形態では、音響光学的光変調器（AO

M)、電気光学変調器(EOM)、レーザの再生増幅システム等の周波数調節手段176を設けている。ここで、前記音響光学的光変調器(AOM)は、印加する超音波の輝度を変えて、回折された光の輝度を変調するものである。

【0067】これをパルス励起光L11の伝播路中に設けることにより、該パルス励起光L11の繰り返し周波数を下げることができる。また、前記電気光学変調器(EOM)は、カーセルその他の信号制御電気光学装置を用いて、偏光ビームの振幅、位相、周波数、方向などを変える光変調器の一種である。これをパルス励起光L11の伝播路中に設けることにより、該パルス励起光L11の繰り返し周波数を下げることができる。

【0068】このようにして本実施形態では、周波数調節手段176により、パルス励起光L11の繰り返し周波数を下げることにより、該パルス励起光L11が照射されることで、ミリ波・赤外放射素子112より発生するテラヘルツ放射L2の繰り返し時間を、測定試料の緩和時間に合わせて調整することができる。これにより、励起状態の寿命が短いものから長いものまで、さまざまな試料の測定を適正に行うことができる。

【0069】パルス選択システム、光路選択システム
本実施形態では、ミリ波・赤外放射素子112で、より高輝度のテラヘルツ放射を得るためには、よりハイパワーのレーザ光等のパルス励起光L11が必要になる。しかしながら、あまりハイパワーのレーザ光等を、検出器156等にサンプリング・パルス光L12として照射すると、検出器を破損してしまう場合がある。

【0070】そこで、本実施形態では、まずパルス選択システム178を設け、このパルス選択システム178により、高輝度電磁波が得られる比較的ハイパワーの780nmのレーザ光と、検出器156等を破損しない程度の比較的ローパワーの1550nmのレーザ光を選択可能にしている。また、本実施形態では、このパルス選択システム178の上段に、光路選択システム180を設けている。

【0071】そして、これらのパルス選択システム178と光路選択システム180により、例えば1550nmのレーザ光をミリ波・赤外放射素子112と検出器156等に導光することができる。また、より高輝度の電磁波を得るために780nmのレーザ光をミリ波・赤外放射素子112に導光し、1550nmのレーザ光を検出器156等に導光することにより、高輝度のテラヘルツ放射L2が得られるとともに、検出器156等の破損等を確実に防止することができる。

$$I(\tau) \propto \int_{-\infty}^{+\infty} E_s(t) N(t-\tau) dt$$

となる。

【0078】ここで、前記 τ はサンプリング・パルス光L12の遅延時間であり、前記光学的遅延手段160、162により該遅延時間 τ を走査することによって、試

料透過(反射)光強度の時間依存性 $E_s(t)$ を電流輝度の時間軸信号 $I(\tau)$ として検出する。また、この $I(\tau)$ は、非線形結晶(TeO_2)を用いたEO素子158(電気光学素子)によっても検出される。

【0072】励起光遅延ステージ

また、本実施形態では、パルス励起光L11とサンプリング・パルス光L12の光路のどちらが長くなるかわからない場合であっても、このパルス励起光L11とサンプリング・パルス光L12との間に、適正に光路差を設け、該光路差により所定の遅延時間差を設けられるように、励起光遅延ステージ182を設けてもよい。

【0073】光チョップ

本実施形態では、光路選択システム180とミリ波・赤外放射素子112との間の、レーザ光L1の伝播路中に、光チョップ184を設けてもよい。そして、この光チョップ184により、レーザ光L1を確実に所定の時間間隔の断続光としている。

【0074】パルス分光部の信号処理の流れ

つぎに、パルス分光部118の信号処理の流れを説明する。すなわち、本実施形態では、パルス励起光L11をミリ波・赤外放射素子112に照射することによって発生するテラヘルツ放射L2を、測定試料に照射し、その透過ないし反射テラヘルツ放射L7の時系列データをフーリエ逆変換することにより、赤外線吸収スペクトルデータを得ている。

【0075】ここで、テラヘルツ放射L2の発生には、シリコンレンズ/TL-GaAs基板ポウタイアンテナ構造の光スイッチ素子等の発振器112に、図5(a)に示されるようなパルス励起光L11の照射で、電子・正孔の自由キャリアを誘起させ、超高速電流変調することによって、同図(b)に示されるような、テラヘルツ放射L2を得ている。

【0076】そして、このテラヘルツ放射L2は、試料中を伝播してその光物性情報を獲得した後に、光検出器156、158で電気信号に変換される。この試料透過ないし反射テラヘルツ放射L7の輝度 $E_s(t)$ (同図(c)参照)の検出は、テラヘルツミリ波・赤外放射素子と同様の光伝導スイッチ素子を用いて、サンプリング・パルス光L12により光伝導ギャップに励起されたキャリア(数: $N(t)$)の流れ(電流)として検出される。

【0077】その電流密度 $I(t)$ は、 $E_s(t)$ と励起キャリア数 $N(t)$ とのコンボリューション、すなわち、

【数1】

料透過(反射)光強度の時間依存性 $E_s(t)$ を電流輝度の時間軸信号 $I(\tau)$ として検出する。また、この $I(\tau)$ は、非線形結晶(TeO_2)を用いたEO素子158(電気光学素子)によっても検出される。

【0079】すなわち、このEO素子158による検出が、上記の光スイッチ素子等の検出器156による検出と比較して、高速で高感度検出が期待されることから、むしろEO素子158による検出が好ましいからである。そして、試料透過ないし反射テラヘルツ放射L7の輝度は、パルス励起光L11に同期して、所定の時間 Δt づつ遅延されたサンプリング・パルス光L12（同図（d）参照）によって、光学的に極めて短時間隔でサンプリングされる。

【0080】このサンプリング幅 Δt 秒は、測定に望まれる、要求される測光スペクトルの波数分解能 $\Delta\sigma\text{ cm}^{-1}$ に対して $\Delta t=1/2\pi\Delta\sigma$ で定められる。この検出されたパルス電磁波の輝度信号（同図（e）参照）は、コンピュータ126に伝送され、逆フーリエ変換処理で波数空間に変換されることにより、同図（f）に示されるような分光スペクトルとして出力される。

【0081】このようなパルス分光部118を用いると、1台で光学系の調整なしにTHz領域をカバーできなく、繰り返し時間が、たとえば20MHz～50MHz等と、極めて早いと、大気中の水蒸気などの影響をほとんど受けることなく測定でき、大がかりな真空用筐体や真空排気装置も不要であるのみならず、超高速時間分解測光が可能である。

【0082】また、屈折率の振幅と位相を独立に同時に得ることと、広いスペクトル領域を1台の分光装置で光学系を調整することなく測定可能である。そして、一台の装置に、平行光試料部152と収束光試料部154を直列に複数設け、ミリ波・赤外放射素子112からのテラヘルツ放射L2を、試料153、又は試料155に応じて異なる形状で照射できるように、各試料部152、154の前後に、放物面鏡164a～164c等を鏡面の向きを工夫して設けることとしたので、一台の装置で、種々の試料や測定モードをカバーできるので、一般的なパルス分光部を用いた場合に比較し、汎用性が向上される。

【0083】また、遅延時間を設ける遅延手段として、一般的な試料測定用の光学的遅延手段160に加えて、時間原点調整用の光学的遅延手段162を設けることにより、試料測定用の遅延手段160のみを設けた場合に比較し、遅延時間差を設ける制御をより適正に行うことができる。さらに、テラヘルツ放射L2の繰り返し周波数を下げるための周波数調節手段176として、たとえばミリ波・赤外放射素子112に印加されるパルス励起光の繰り返しを下げるため、レーザ光L1の伝播路中に、音響光学的光変調器（AOM）等を設けることにより、テラヘルツ放射L2の繰り返し時間を、測定試料の緩和時間に合わせて調整することができる。

【0084】これにより、励起状態の寿命が短いものから長いものまで、さまざまな試料の測定を適正に行うことができる。

第二実施形態

図6には、本発明の第二実施形態にかかる複合赤外分光装置の概略構成が示されている。なお、前記第一実施形態と対応する部分には符号100を加えて示し説明を省略する。

【0085】同図に示す複合赤外分光装置では、パルス分光部218に付属のミリ波・赤外放射素子212より発生したテラヘルツ放射L2を、導光手段228により一度外部に取り出し、応用光学系286に導光する。この応用光学系286としては、例えば固体透過・反射測定、光音響測定、拡散反射測定、全反射（ATR）測定、野外大気成分観測等を行うものがある。

【0086】本実施形態では、この応用光学系286に設置の試料を透過ないし反射したテラヘルツ放射を、この応用光学系286より取り出し、導光手段228を介して、再度、パルス分光部218の内部に取り込み、該パルス分光部218内部の構成部材により検出する。したがって、前記第1実施形態と同様、従来の光源を用いた場合に比較し、SN比の良い測定を行うことができるとともに、さらに外部に組み込まれる応用光学系286を変えることにより、さまざまな計測が可能となる。

【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明にかかる赤外分光装置によれば、ミリ波・赤外放射素子に超短のパルス励起光を高速で照射することにより、ミリ波から赤外波長域における所望の波数範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったテラヘルツ放射を、実質的に時間的に連続した状態で発生させ、二光束干渉分光法や分散型分光法等の種々赤外分光装置の光源光として用いることとしたので、従来の熱放射体を用いた連続光光源より放射される赤外光に比較し、高輝度の赤外光を安定して得ることができる。これにより、試料の赤外線吸収の測定を、より高精度に行うことができる。つまり、SN比の向上と同時に、測定波数領域拡大を引き出すことができる。また、パルス分光部に付属のミリ波・赤外放射素子で発生したテラヘルツ放射を導光手段により外部に取り出し、前記二光束干渉分光法や分散型分光法等の他の赤外分光装置で光源光として用いることにより、種々の赤外分光装置を別個独立に設けたものに比較し、光学系の光学的最適調整状態を良好に保持できると共に、装置構成の簡易化を図ることができる。さらに、前記パルス励起光の時間幅を、例えば6～170フェムト秒に設定する時間幅設定手段と、該パルス励起光の繰り返し周波数を1.5MHz以上に設定する周波数設定手段等を設けることにより、所望の波数範囲の測定光を、より確実に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ミリ波・赤外放射素子による電磁波放射の説明図である。

【図2】パルス励起光とテラヘルツ放射の持つ最大波数

の関係の説明図である。

【図 3】本発明の第一実施形態にかかる複合赤外分光装置の概略構成の説明図である。

【図 4】本発明の第一実施形態にかかる複合赤外分光装置のパルス分光部を使用する場合の説明図である。

【図 5】図 4 に示す複合赤外分光装置のパルス分光部による信号処理の流れである。

【図 6】本発明の二実施形態にかかる複合赤外分光装置の概略構成の説明図である。

【符号の説明】

112…ミリ波・赤外放射素子

114…フェムト秒レーザ（励起源）

116…二光束干渉分光測定部（二光束干渉分光法）

118…パルス分光部

* 120…複合赤外分光装置

124…検出器

126…コンピュータ（信号処理手段、時間幅設定手段、周波数設定手段等）

128, 228…外部観測用光路切換ミラー（導光手段）

136…固定鏡

138…走査鏡

140…測定試料

10 L11…パルス励起光

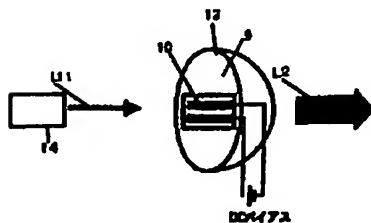
L2…テラヘルツ放射（パルス電磁波）

L5…干渉光

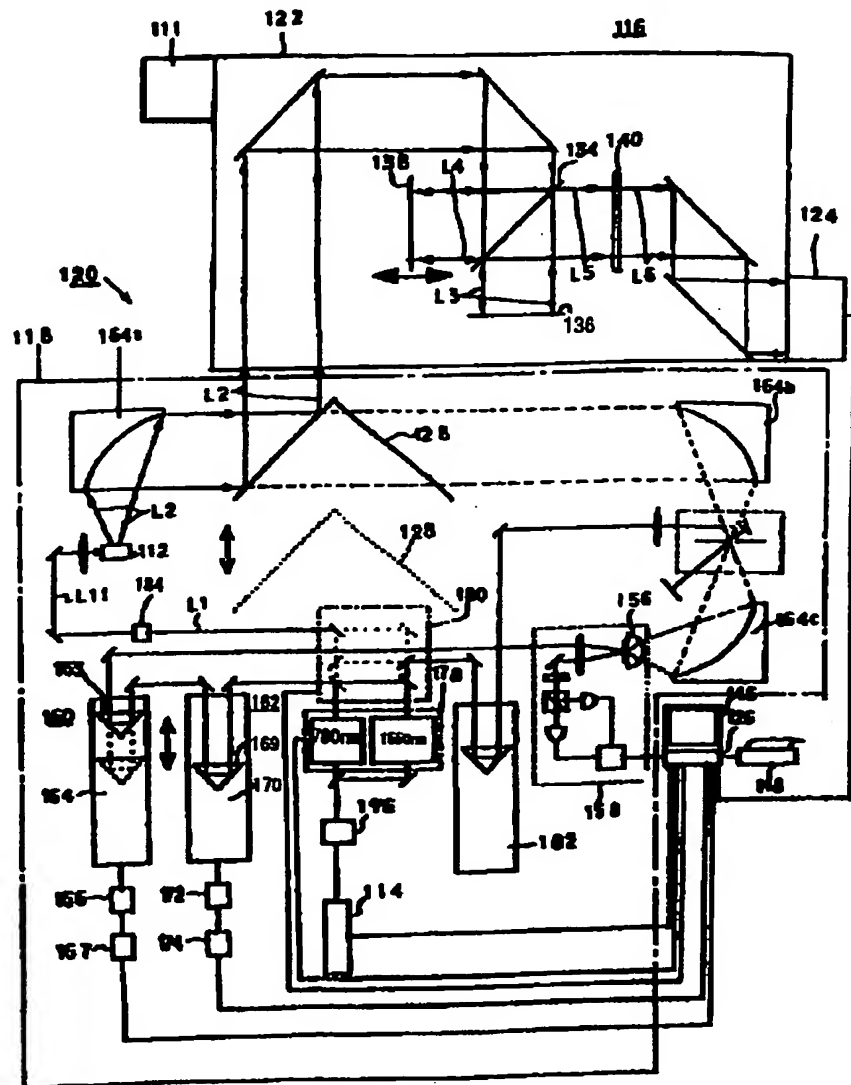
L6…試料透過干渉光

*

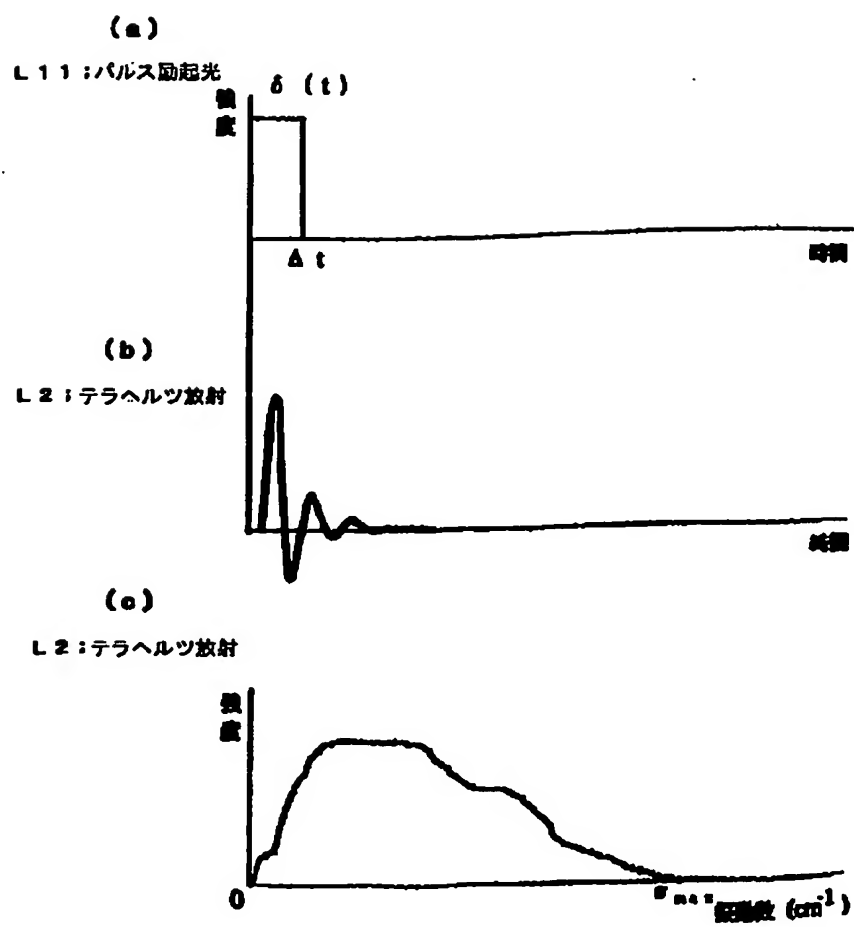
【図 1】



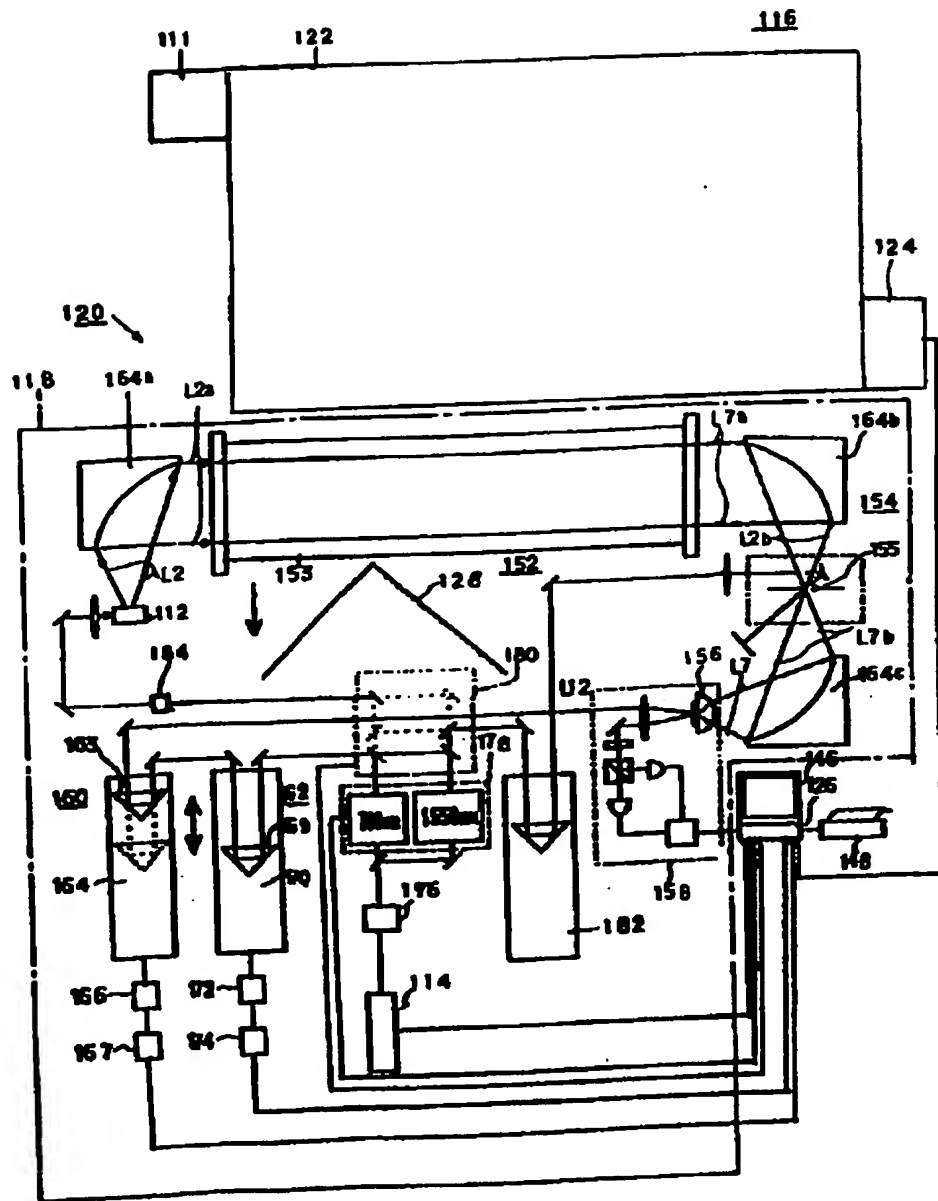
【図 3】



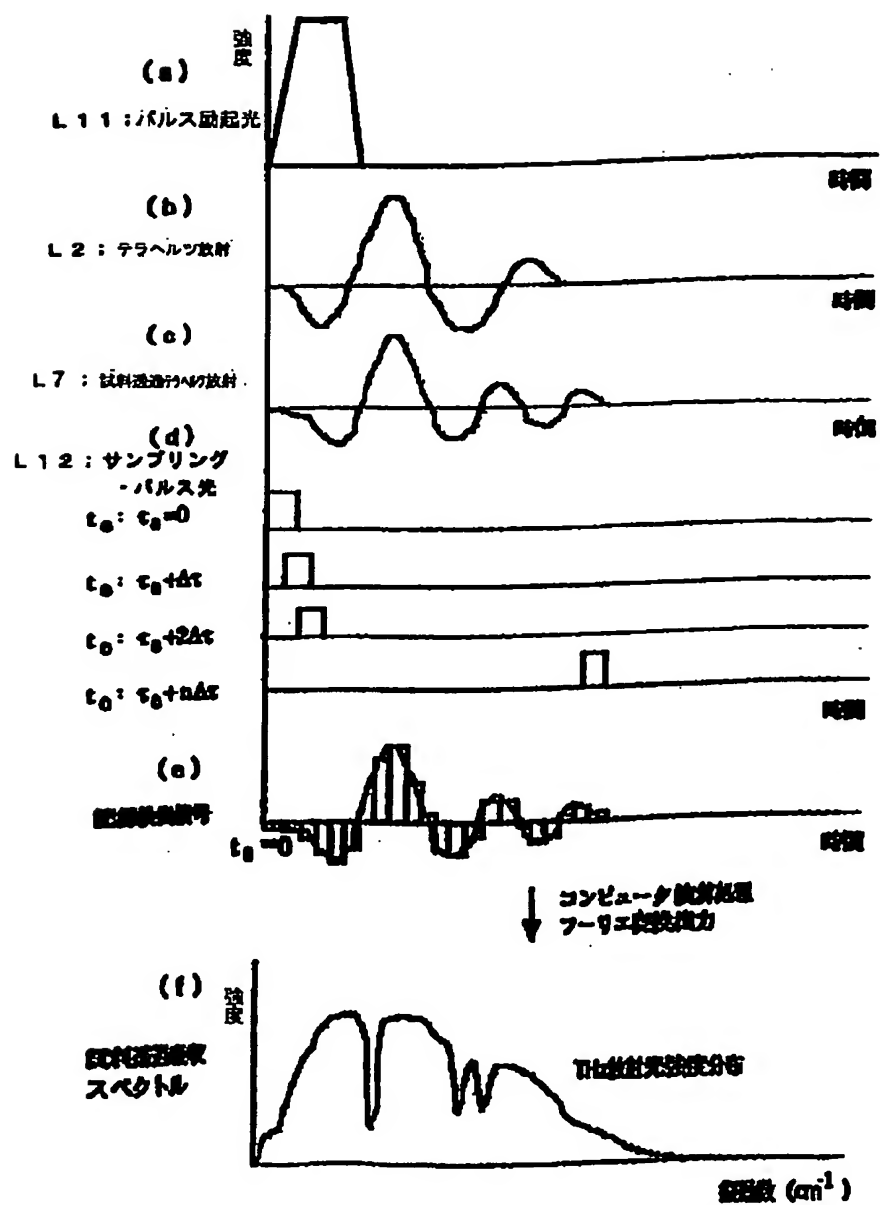
【図2】



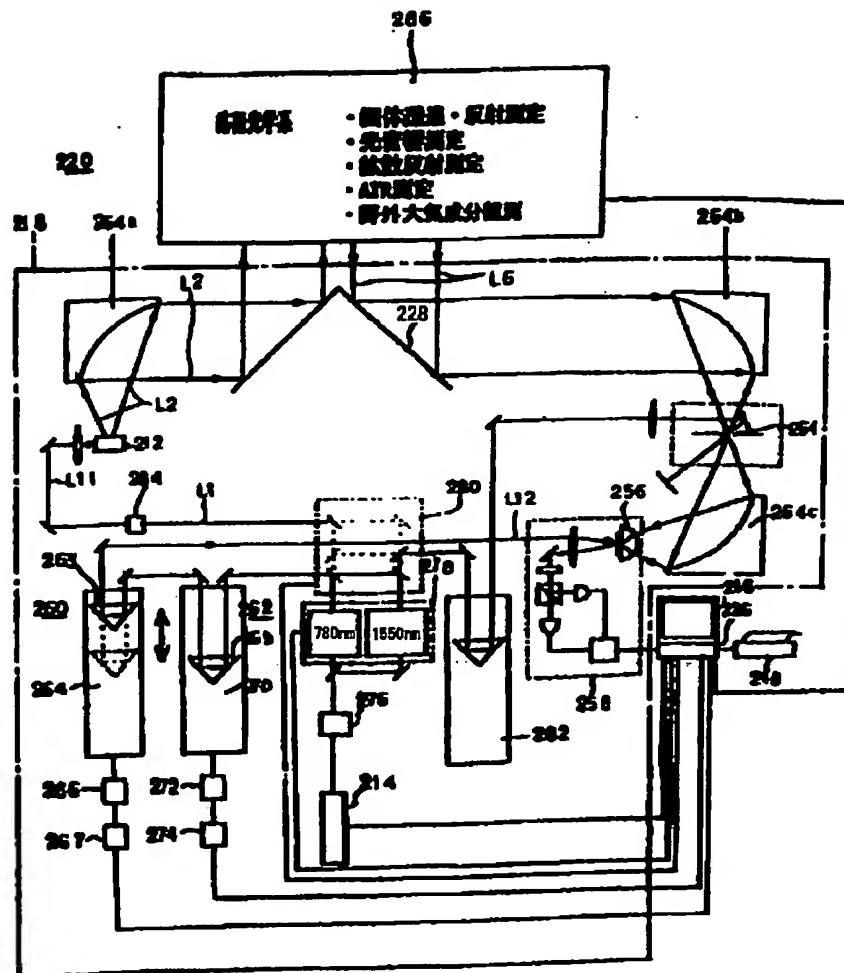
【図4】



【図5】



【図6】



【手続補正書】

【提出日】平成11年8月9日(1999. 8. 9)

* 【補正対象項目名】全図

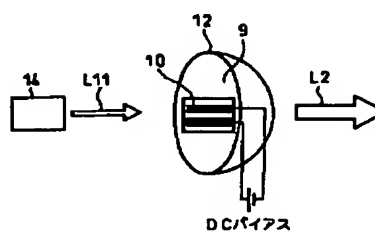
【手続補正1】

【補正方法】変更

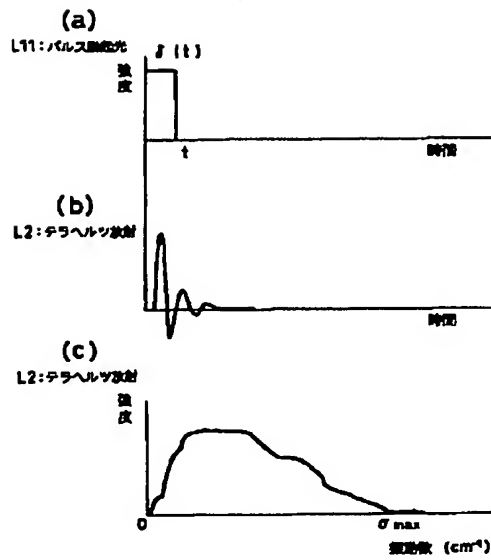
【補正対象書類名】図面

* 【補正内容】

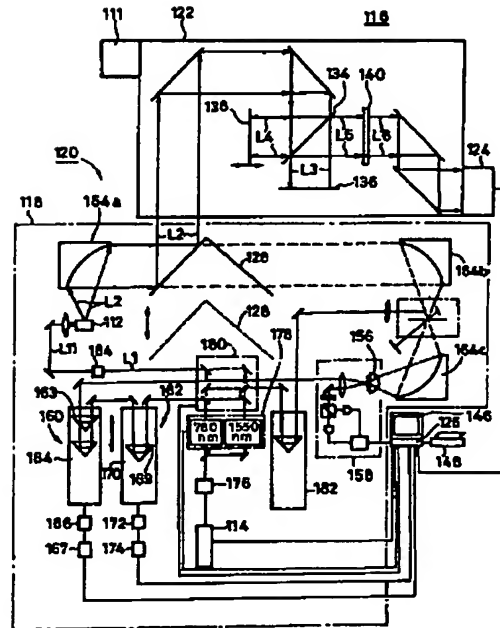
【図1】



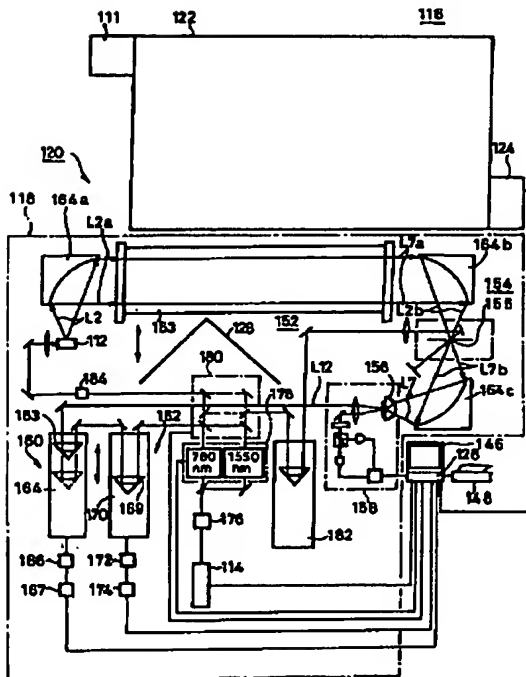
【図 2】



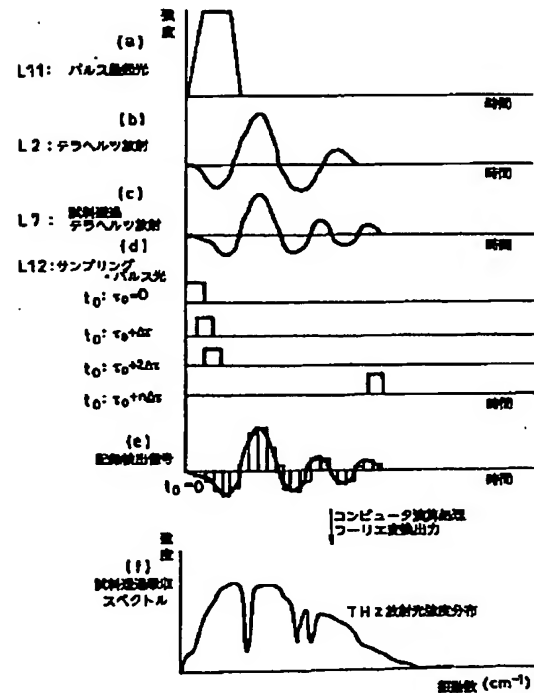
【図 3】



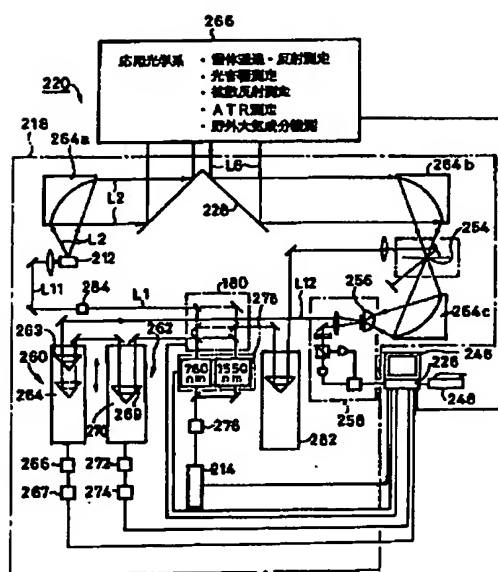
【図 4】



【図 5】



【図6】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G020 AA02 AA03 BA02 BA12 BA14
 CA02 CA12 CB05 CB23 CB25
 CB27 CB31 CB42 CB46 CC22
 CC47 CD03 CD16 CD22 CD26
 CD33 CD35 CD51 CD57
 2G059 AA02 BB01 BB04 BB08 EE10
 GG01 GG03 HH01 HH05 JJ11
 JJ13 JJ22 KK01 KK03 KK09
 MM01 MM14 PP04